



(72) HEITZ, Michèle, CA

(72) VIEL, Guy, CA

(72) BRZEZINSKI, Ryszard, CA

(72) WU, Guoxiong, CA

(72) KIARED, Karim, CA

(72) BIBEAU, Louise, CA

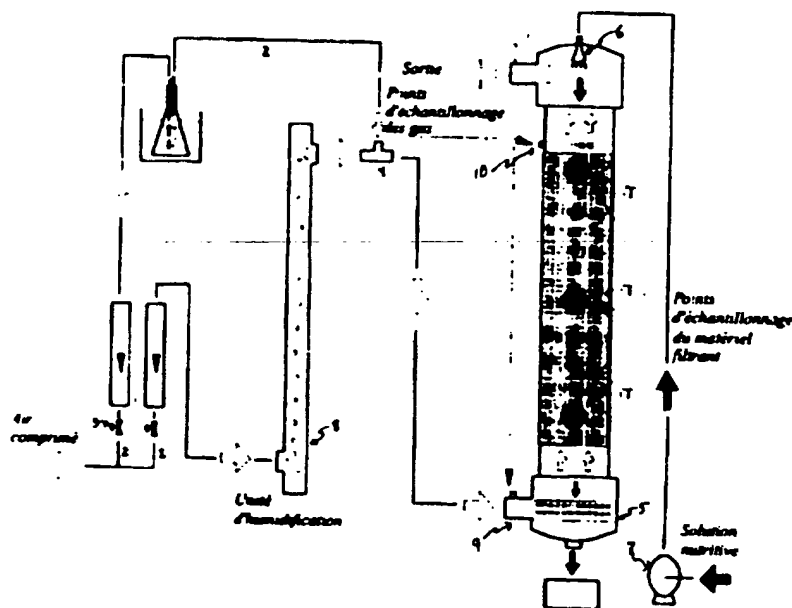
(72) CONTI, Bernadette, CA

(71) UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, CA

(51) Int.Cl.⁶ B01D 53/84, B01D 53/44

(54) **PROCESS AND DEVICE FOR TREATING AIR POLLUTED BY
VOLATILE ORGANIC SOLVENTS**

(54) **PROCEDE ET APPAREIL DE TRAITEMENT DE L'AIR POLLUE
PAR DES SOLVANTS ORGANIQUES VOLATILES**



(57) Cette invention est reliée à un procédé de traitement par biofiltration d'un fluide gazeux comprenant des polluants organiques volatiles, tels que solvants organiques volatiles (SOV). Le biofiltre est composé d'un consortium de microorganismes sélectionnés pour leur grande capacité de dégrader les BTEX (benzène,

(57) This invention is related to a process for the biofiltration treatment of gaseous fluids containing volatile organic pollutants, such as volatile organic solvents (VOS). The biofilter is made from a combination of microorganisms selected for their great ability to degrade BTEXs (benzene, toluene,





(21)(A1) **2,211,564**
(22) 1997/07/18
(43) 1999/01/18

toluène, éthylbenzène, xylènes) et les alcools. Avantagusement, ces microorganismes sont inoculés sur un lit filtrant vertical composé de (i) tourbe granulée; (ii) d'un matériau non-compactable et liant comme le PVA, la gomme de guar, l'acide polyacrylique, le polyacrylamide, un silicate ou du ciment; (iii) un agent tampon pour permettre d'adhésion des microorganismes sur le mélange tourbe-liant; (iv) un matériau retenant l'humidité; et (v) un matériau de finition adsorbant les polluants dégradés ayant échappé à une conversion en produits non-polluants, avant la relâche du fluide gazeux dans l'environnement. Le fluide gazeux chargé en polluants est introduit au bas du biofiltre et remonte en traversant le lit filtrant qui en capture les polluants et les convertit en dioxyde de carbone et en eau. Le procédé, le biofiltre et le système de traitement permettent une capacité d'élimination d'environ $165 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ de toluène pour une charge de $200 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$. Le système est peu dispendieux, compact, efficace, et facile à opérer.

ethylbenzene and xylenes) and alcohols. These microorganisms are inoculated on a vertical filter bed made up of (i) pelletized peat; (ii) a non-compactable and binding agent such as PVA, guar gum, polyacrylic acid, polyacrylamide, a silicate or cement; (iii) a buffering agent to enable microorganisms to adhere to the peat binder mixture; (iv) a moisture-retaining material; and (v) a finishing material adsorbing the degraded pollutants not converted into non-polluting products, before the gaseous fluid is released into the environment. The pollutant-loaded gaseous fluid is introduced at the bottom of the biofilter and comes up through the filter bed, which captures the pollutants and converts them into carbon dioxide and water. The process, biofilter and treatment system have the capacity to eliminate $165 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ of toluene from a pollutant load of $200 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$. The system is inexpensive, compact, effective and easy to operate.



PRÉCIS

Cette invention est reliée à un procédé de traitement par biofiltration d'un fluide gazeux comprenant des polluants organiques volatiles, tels que solvants organiques volatiles (SOV). Le biofiltre est composé d'un consortium de microorganismes sélectionnés pour leur grande capacité de dégrader les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes) et les alcools. Avantageusement, ces microorganismes sont inoculés sur un lit filtrant vertical composé de (i) tourbe granulée; (ii) d'un matériau non-compactable et liant comme le PVA, la gomme de guar, l'acide polyacrylique, le polyacrylamide, un silicate ou du ciment; (iii) un agent tampon pour permettre d'adhésion des microorganismes sur le mélange tourbe/liant; (iv) un matériau retenant l'humidité; et (v) un matériau de finition adsorbant les polluants dégradés ayant échappé à une conversion en produits non-polluants, avant la relâche du fluide gazeux dans l'environnement. Le fluide gazeux chargé en polluants est introduit au bas du biofiltre et remonte en traversant le lit filtrant qui en capture les polluants et les convertit en dioxyde de carbone et en eau. Le procédé, le biofiltre et le système de traitement permettent une capacité d'élimination d'environ 165 g/m³.h de toluène pour une charge de 200 g/m³.h. Le système est peu dispendieux, compact, efficace, et facile à opérer.

Titre de l'invention :

Procédé et appareil de traitement de l'air pollué par des solvants organiques volatiles.

Domaine de l'invention :

5 L'invention a trait à un procédé et un appareil de traitement de l'air pollué par des solvants organiques volatiles (SOV). Plus particulièrement, le procédé et l'appareil font appel à un biofiltre.

10 Il est à noter que l'expression solvants organiques volatiles (SOV) est utilisée dans son sens large et comprend l'expression synonyme composants organiques volatiles (COV). Le mot "solvants" fait référence à tout composant peut importe sont utilisation comme solvant ou non.

Arrière-plan technologique de l'invention :

Différentes technologies existent pour le contrôle des odeurs et de l'émission de solvants organiques volatiles (ci-après SOV).

15 Les procédés de traitements traditionnels peuvent être divisés en trois classes principales: les traitements chimiques, physiques et biologiques. La présente invention a plus particulièrement trait aux traitements biologiques.

20 Bien que les méthodes traditionnelles de traitement biologiques procurent des résultats adéquats, elles impliquent des coûts élevés. Ces coûts étant augmentés par la nécessité de traitements additionnels de résidus, les coûts d'entretien et de régénération des appareils de traitement et par une demande énergétique élevée.

Trois configurations de bioréacteurs sont présentement connues: le biolaveur, le filtre percolateur et le biofiltre. Ces configurations de procédés biologiques utilisés pour le traitement de l'air peuvent se distinguer suivant l'état de la phase liquide stationnaire ou en mouvement et suivant que les micro-organismes sont immobilisés ou dispersés.

La présente invention fait appel à la biofiltration. Le principe de la biofiltration consiste à amener en contact l'air pollué avec une microflore immobilisée sur un support perméable. Le polluant est source de carbone et d'énergie pour la microflore de microorganismes aérobies. Le polluant est transformé en dioxyde de carbone, en eau, en biomasse et en sels minéraux.

La complexité et la diversité des phénomènes impliqués dans l'opération de transformation des SOV ont mené à diverses activités de recherche en biofiltration.

Un premier champ de recherche touche les aspects microbiologiques et se concentre sur la purification et la sélection de souches bactériennes spécifiques démontrant une habilité à dégrader les polluants organiques (Cox H.H.J., H.J. Doddema et W. Harder, "Application of Styrene-Degrading Fungi in Biofilters", in "Proc. Int. Conf. Precis. Process Technol.", M.P.C. Weijnen et A.A.H. Drinkenburg, Eds., 1993, Inst. Environ. Sci. Delft. Neth, pp. 671-674.;

Tiwaree R.S., K.S. Cho, M.Hirai et W. Shoda, "Biological Deodorization of Dimethyl Sulfide using Different Fabrics as the Carriers of Micro-organisms". App. Biochem. Biotechnol. 32, 135-148 (1992);

Zinebi S., C. Henriette, E. Petitdemange et J.C. Joret, "Identification and Characterization of Bacterial Activities Involved in Wastewater Treatment by Aerobic Fixed-bed Reactor", Wat. Res. 28, 2575-2582 (1994)).

Un second champ de recherche se concentre sur l'étude du transfert de masse de la phase gazeuse à la phase liquide et sur les aspects hydrodynamiques tels que régimes d'écoulement et distribution des temps de séjour (Ottengraf S.S.P. et A.H.C. van den Oever, "Kinetics of Organic Compound Removal from Waste Gases with a Biological Filter", Biotechnol. Bioeng. 25, 3089-3102 (1983);

Tahraoui K., R. Samson et D. Rho, "Biodegradation of BTX from Waste Gases in Biofilter Reactor", in "Proc. Am. Meet. - Air & Waste Management Association, 87th Annual Meeting & Exhibition", June 2-13, Cincinnati, OH (1994), pp 2-13).

Il est à noter que dans un biofiltre, le polluant est envoyé dans le lit filtrant tandis qu'une phase liquide est ajoutée périodiquement au lit filtrant pour enrichir les micro-organismes avec des nutriments et contribuer ainsi à la formation d'un biofilm entourant les particules du lit filtrant.

Un troisième champ de recherche se concentre sur les aspects physiques et mécaniques des biofiltres, incluant supports, filtre percolateurs, tailles des particules, tailles de biofiltres. Bien entendu, les avancements techniques visent la découverte

de meilleurs lits filtrants en considérant coûts, performance et durabilité. Par exemple, le matériel filtrant doit comporter de bonnes propriétés mécaniques et physiques telles que structure, surface spécifique, résistance à l'écoulement, capacité tampon et de bonnes propriétés biologiques permettant de soutenir la croissance de microflore.

5 Plusieurs types de matériaux filtrant sont connus, incluant le compost, la terre, la tourbe et un mélange de ces derniers avec des morceaux de bois, de branches et des particules de polystyrène (Ottengraf S.P.P. et R. Disks, "Biological Purification of Waste Gases", *Chemica oggi* 8(5), 41-45 (1990);

10 Martin A. M., "Peat as an Agent in Biological Degradation: Peat Biofilters", in *Biol. Degrad. Wastes*, A.M. Martin, Ed., (1991), pp. 341-62).

Il faut mentionner que parmi les lits filtrants, la tourbe est une composante qui possède une combinaison privilégiée de propriétés chimiques et physiques (Martin, 1991, précité et Rothenbühler M., M. Heitz, M. Beerli et B. Marcos, "Biofiltration of Volatile Organic Emissions in Reference to Flexographic Printing Process", *Water, Soil and Air Pollution*, 83, pp 37-50 (1995)).

La plupart des biofiltres présentement connus possèdent des faibles capacités d'élimination de SOV et ont le désavantage d'être volumineux, encombrants et coûteux à construire. Par exemple, Klared et coll., "Biological Elimination of VOC's in Biofilters", *Environmental Prog.* 15(3), 148-152 (1996), divulguent une méthode et un système de biofiltre où la capacité maximale d'élimination du toluène ne dépasse pas 70g/m³.h pour une charge de 100g/m³.h.

Objectifs de l'invention :

L'objectif principal de la présente invention vise à développer des biofiltres peu volumineux et offrant de très bon taux d'élimination de SOV.

25 Un autre objectif atteint par la présente invention touche la sélection de lits filtrants et d'espèces microbiennes permettant d'obtenir une surprenante performance de dégradation et d'élimination de SOV.

Sommaire de l'invention

30 De façon très générale, la présente invention procure un procédé et un appareil avantageux pour l'élimination rapide et efficace de SOV polluant un milieu gazeux se

retrouvant par exemple dans les émissions gazeuses d'imprimerie flexographiques. L'invention est privilégiée par la découverte d'un lit filtrant innovateur et non compressible ou compactable et par la découverte d'une combinaison milieu filtrant et microorganismes capable de fournir de très bons taux de dégradation de SOV.

- 5 L'invention, dans un premier aspect, porte donc sur un procédé de traitement de l'air par biofiltration. Le procédé fait appel à un biofiltre innovateur. Le biofiltre de la présente invention est modulaire, compact et équipé d'un lit filtrant granulé à base de tourbe, stable, homogène, conférant au biofiltre une performance supérieures à celles mentionnées dans la littérature.
- 10 Dans une incorporation souhaitable, le procédé de la présente invention comprend les étapes suivantes:
- 15 a) la préparation d'un biofiltre capable de convertir une portion substantielle des polluants organiques volatiles en des produits non-polluants, ledit biofiltre comprenant au moins une unité verticale servant de récipient-support aux composantes du biofiltre, lesdites composantes comprenant :
- 20 - un premier élément comprenant un mélange non-compactable servant de lit filtrant, ledit mélange comprenant :
- un premier matériau capable d'une grande ab/adsorption de fluide gazeux et formulé de façon à présenter une surface spécifique et un volume interstitiel adéquats pour permettre une capture du fluide gazeux par des microorganismes adhérents à ce premier matériau et exerçant une fonction de support des microorganismes;
- 25 - un deuxième matériau présent dans une proportion apte à éviter le compactage du lit filtrant et servant d'agent liant au premier matériau;
- un agent tampon servant à l'adhésion de microorganismes au premier matériau et exerçant une fonction de support des microorganismes; et
- 30 - un consortium de microorganismes capables de ladite conversion, ces microorganismes étant inoculés et adhérents au premier matériau; et
- des moyens d'arrosage permettant d'arroser ledit lit filtrant;

- b) l'humidification de la colonne par l'ajout d'une solution aqueuse comprenant des nutriments et des tampons supportant l'intégrité et la fonction des microorganismes, l'humidification étant assurée par lesdits moyens d'arrosage;
- 5 c) le maintien du lit filtrant à une température compatible avec l'intégrité et la fonction des microorganismes; et
- d) l'apport du fluide gazeux, pouvant contenir les polluants organiques volatiles, l'apport étant accompli au bas de la colonne, ledit fluide gazeux étant au préalable humidifié, et l'apport étant effectué à un débit permettant
- 10 que ladite conversion soit efficace.

Le procédé de la présente invention constitue un avantage marqué en rapport à l'art antérieur. Par exemple, pour le toluène une capacité d'élimination de $165 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ pour une charge de $200 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ peut être atteinte ce qui est inattendu et de loin supérieur aux valeurs relevées dans la littérature.

- 15 Il est à noter que contrairement aux procédés relevés dans l'art antérieur, le procédé de la présente invention a l'avantage additionnel de générer presque aucun déchets secondaires ou eaux usées. De plus le procédé de l'invention est économiquement et écologiquement satisfaisant. Par surcroît, la très faible consommation énergétique du procédé, la durabilité des matériaux filtrants et la possibilité de les utiliser à d'autres
- 20 fins quand ils ont à être remplacés s'avèrent des atouts majeurs pour le procédé, ce qui rend ce dernier d'autant plus innovateur et compétitif face aux technologies concurrentes.

Dans un second aspect, la présente invention porte sur le biofiltre même. Dans un incorporation souhaitée, le biofiltre comprend:

- 25 au moins une unité verticale servant de réceptacle-support aux composantes du biofiltre, lesdites composantes comprenant :
- un premier élément comprenant un mélange non-compactable servant de lit filtrant, ledit mélange comprenant :
 - un premier matériau capable d'une grande ab/adsorption de
- 30 fluide gazeux et formulé de façon à présenter une surface spécifique et un volume interstitiel adéquats pour permettre une capture du

- fluide gazeux par des microorganismes adhérents à ce premier matériau et exerçant une fonction de support des microorganismes;
- un deuxième matériau présent dans une proportion apte à éviter le compactage du lit filtrant et servant d'agent liant au premier matériau;
 - un agent adhésif servant à l'adhésion de microorganismes au premier matériau; et
 - un consortium de microorganismes capables de ladite conversion, ces microorganismes étant inoculés et adhérents au premier matériau; et
 - des moyens d'arrosage permettant d'arroser ledit lit filtrant.

Dans un autre aspect, la présente invention a trait à un nouveau consortium ou combinaison de souches microbiennes qui lorsqu'utilisées ensemble donnent d'excellents résultats lorsque placés dans un biofiltre.

- 15 Le consortium microbien présente les particularités suivantes:

Les pathogènes concernés sont les suivants: salmonelles, *Staphylococcus aureus*, *Shigella* sp., *Pseudomonas aeruginosa*; *Salmonella typhosa*; *Escherichia coli*, coliformes fécaux < 100 UFC/g; streptocoques fécaux < 100 UFC/g. Le contenu total en bactéries est de $\geq 10^8$ UFC/g sec du consortium, en levures et moisissures $\geq 10^3$ /g, en actinomycètes mésophiles $\geq 10^7$ /g. Les groupes microbiens reliés composants le consortium font partie du groupe des levures et moisissures (Ex.: *Aspergillus* sp.), d'actinomycètes et de *Thiobacillus*.

D'autres aspects de la présente invention deviendront apparents à la lecture de la description détaillée qui suit. Cependant, il est à noter que cette description détaillée vise des incorporations préférées de l'invention et est donnée à titre indicatif et d'illustration. Les spécialistes versés dans l'art comprendront que plusieurs modifications et aménagements des incorporations de l'invention pourront être apportés sans pour autant quitter l'esprit et la portée de la présente invention.

Brève description des figures :

La figure 1 représente schématiquement le biofiltre ci-après appelé biofiltre "B1".

La figure 2 est une version modifiée du biofiltre de la figure 1 ci-après appelé biofiltre "B2".

La figure 3 est une version pilote du biofiltre de la présente invention ci-après appelé biofiltre B3.

Description détaillée de l'invention

Un biofiltre de l'invention comprend donc au moins une unité verticale servant de récipient-support aux composantes du biofiltre, les composantes du biofiltre comprenant :

- un élément comprenant un mélange non-compactable servant de lit filtrant, le mélange comprenant :
 - un premier matériau capable d'une grande ab/adsorption de fluide gazeux et formulé de façon à présenter une surface spécifique et un volume interstitiel adéquats pour permettre une capture du fluide gazeux par des microorganismes adhérents à ce premier matériau et exerçant une fonction de support des microorganismes;
 - un deuxième matériau présent dans une proportion apte à éviter le compactage du lit filtrant et servant d'agent liant au premier matériau;
 - un agent adhésif servant à l'adhésion de microorganismes au premier matériau; et

- un consortium de microorganismes capables de ladite conversion, ces microorganismes étant inoculés et adhérents au premier matériau ; et
et finalement des moyens d'arrosage permettant d'arroser ledit lit filtrant.

- 5 Préférentiellement, les moyens d'arrosage pourront surplomber le biofiltre ou être disposés à différents niveaux à l'intérieur du biofiltre.

Dans un premier temps, un montage expérimental de la présente invention sera décrit. Le schéma du montage expérimental à l'échelle de laboratoire est représenté dans son ensemble sur la figure 1.

- 10 Deux biofiltres, de conception semblable, sont constitués de tubes en PVC opaque de 15 cm de diamètre et de 1 m 20 de hauteur. Ils sont posés verticalement sur des socles métalliques. L'alimentation du biofiltre est assurée par un débit d'air principal (1) issu d'un réseau d'air comprimé. Une faible partie de ce débit est déviée (2) vers un barboteur plongé dans un bain-marie afin d'assurer un taux d'évaporation contrôlé,
15 et par voie de conséquence une concentration en polluants dans la phase gazeuse fixe. Le transport du gaz chargé en SOV est assuré par des canalisations en Téflon™ afin d'éviter toute réaction avec les molécules organiques. Les débits principal et secondaire sont contrôlés par des débitmètres de type «brooks»™ (3) préalablement étalonnés. Après la sortie du débitmètre, le débit principal d'air traverse une colonne
20 d'eau (8), pour assurer sa saturation en eau. Cette colonne d'eau est munie d'un indicateur afin de visualiser le niveau d'eau. Le mélange du débit principal et du débit secondaire (chargé en SOV) est réalisé à la sortie de la tour d'humidification pour minimiser le transfert du polluant de la phase gazeuse à la phase liquide. Le taux d'humidité relative de l'air à l'entrée du biofiltre est mesuré par l'intermédiaire d'un
25 capteur d'humidité préalablement étalonné. Après le mélange des deux circuits (4), le gaz est conduit en bas du biofiltre et est distribué au moyen d'un tube, percé d'une dizaine de trous de 1 mm de diamètre et placé diamétralement en bas de la colonne.

- Le mélange artificiel de gaz ainsi formé traverse un prégarnissage (5) formé, par exemple, de boulettes en polystyrène, ce dernier, posé au fond de la colonne,
30 totalement séparé du lit filtrant, qui repose sur une plaque en Plexiglas™ perforée. A la sortie du biofiltre, l'air traité qui contient une faible teneur en SOV est canalisé vers un circuit de hotte du laboratoire.

L'humidification du biofiltre est assurée par deux arroseurs (6) placés en haut de la colonne et alimentés séquentiellement par une pompe de recirculation (7) à débit contrôlé. Un seul arroseur est montré à la figure 1. La distribution du liquide à l'entrée du biofiltre est assurée par un pré-garnissage d'anneaux Rashig de 20 cm de haut.

- 5 Après son écoulement à travers le biofiltre, l'eau de drainage est récupérée en bas de colonne pour l'analyse éventuelle de la phase liquide. Afin de suivre l'évolution de la réaction dans le biofiltre, des prises d'échantillons journalières de la phase gazeuse sont effectuées à l'entrée (9) et à la sortie (10) du biofiltre ainsi qu'à des niveaux intermédiaires dans la colonne. La prise d'échantillon du gaz est tributaire du type
- 10 d'analyseur utilisé pour mesurer la concentration en SOV. Dans le cas de l'utilisation d'un l'analyseur d'hydrocarbures, une pompe aspire, en continu, un débit constant de gaz pour l'injecter directement dans le détecteur. On obtient ainsi la quantité totale de carbone présent dans l'échantillon à analyser. En revanche, dans le cas des analyses par chromatographie en phase gazeuse couplée à de la spectrométrie de masse, les
- 15 échantillons sont pris à travers une vanne d'injection automatique. L'avantage de cette dernière technique est qu'elle permet d'injecter à pression contrôlée et d'une façon précise un volume constant d'un échantillon gazeux.

- L'analyse de la phase liquide récupérée en bas du biofiltre est réalisée par un chromatographe en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse muni d'un
- 20 système de purge et piégeage "purge and trap".

Cinq prises de pression sont placées le long de la colonne pour mesurer le profil de pression dans le biofiltre ainsi que les pertes de charge engendrées. Ces dernières sont mesurées par un manomètre différentiel.

- Cinq prises de température sont installées dans le poste d'étude. Les températures
- 25 sont mesurées par des thermocouples de type T. Deux prises servant à mesurer les températures d'entrée et de sortie de l'air; les trois autres prises donnent le profil de température dans le lit filtrant. La lecture sélective de ces différentes températures est assurée par un lecteur muni d'un sélecteur manuel.

- Afin de mesurer le contenu d'humidité du matériel filtrant, trois prises d'échantillon du
- 30 solide sont effectuées à trois différents niveaux du biofiltre. Cette mesure consiste à prendre des échantillons solides, à les peser puis les placer dans l'étuve réglée à 105°C. Après 24 h passés dans une étuve, les échantillons sont pesés de nouveau. La différence entre la masse initiale de l'échantillon et la masse finale exprimée par rapport à la masse initiale donne le taux d'humidité relative du solide. Parallèlement

à ces mesures d'humidité, des caractérisations microbiologiques sont effectuées sur les échantillons de solides prélevés

Dans une seconde incorporation, le biofiltre de la présente invention est modifié comme suit et tel qu'illustré en Figure 2. La colonne est divisée en trois sections e 2) A la jonction de chacune des sections (entre les sections A et B et les sections B et C), on a disposé un grillage en acier inoxydable sur lequel on a placé en croix deux canalisations percées par plusieurs trous. Par dessus ces tuyaux, on a placé un nouveau grillage en acier inoxydable qui sert de support pour la section du dessus. Les grillages ont été renforcés par des barres d'acier inoxydable afin de pouvoir soutenir le poids du matériel filtrant. De plus, on a installé le même grillage de support au bas du biofiltre, au niveau O du lit filtrant. Ce grillage étant caractérisé par une dimension de pores inférieures à 4 mm, pouvait retenir les particules de matériel filtrant.

Des quantités égales de lit filtrant sont empilées sur une hauteur de 33 cm dans chacune des trois sections de la colonne. Afin d'assurer l'étanchéité de la colonne, on a disposé entre chacune des sections un raccord hermétique. Les tuyaux en croix percés installés entre les sections A et B et les sections B et C servent à arroser la section A et la section B respectivement, alors que l'arrosage de la section C peut se faire par le haut.

Le biofiltre pilote B3 est constitué d'un tube en Plexiglass™ de 30cm de diamètre et de 3m de haut. La figure 3 présente d'une façon schématique le biofiltre dans son ensemble et donne plus de détails sur les différentes composantes du biofiltre B3.

Contrairement aux biofiltres de laboratoire B1 et B2, le B3 se compose de trois éléments réunis l'un à l'autre par des brides. Le lit filtrant repose sur une grille qui à son tour repose sur un pré-garnissage de particules en polystyrène servant à la distribution du gaz.

La nature transparente du Plexiglass™ présente les avantages suivants:

- la visualisation de l'écoulement de la phase liquide à travers l'empilement de granules du matériel filtrant,
- le contrôle de l'état de compaction du lit filtrant,
- le contrôle de l'humidité superficielle des granules ainsi que l'état physique du biofilm.

Les différents éléments du biofiltre sont séparés par des portions de tube de 20 cm de haut et diamétralement traversés par des tubes de 10 cm de diamètre. Dans ces tubes sont placés des boîtes contenant des lamelles servant aux analyses microbiologiques du biofilm. Ces tubes sont percés d'un nombre important de trous de façon à ne pas perturber l'écoulement des phases fluides et à ne pas créer des régions isolées dans le biofiltre. Ces éléments d'analyse servent également à placer des prises d'échantillons du gaz pour la mesure de la concentration du polluant ainsi que des prises de pression.

L'alimentation du biofiltre B3 en gaz et en liquide est identique à celle des biofiltres B1 et B2. Toutefois, une modification est apportée en bas du biofiltre au niveau du distributeur. En raison de l'importance du diamètre de la colonne, le gaz est introduit à quatre endroits différents situés sur le même niveau horizontal de la colonne. Les quatre distributeurs sont arrangés en croix afin d'alimenter le biofiltre avec un courant gazeux homogène.

Comme pour les biofiltres B1 et le B2, les températures dans le biofiltre B3 sont mesurées à 5 différents niveaux par des thermocouples de type T, deux servant à la mesure des températures d'entrée/sortie d'air; les trois autres donnent le profil de température dans le lit filtrant. La lecture sélective des différentes températures est assurée par un lecteur muni d'un sélecteur manuel.

L'humidification de l'air avant l'entrée du biofiltre ainsi que la mesure du taux d'humidité de l'air et du solide sont strictement identiques à celles utilisées dans les biofiltres B1 et B2.

Le procédé de biofiltration de la présente invention fut testé à trois échelles soit laboratoire, pilote et semi-industrielle en ce qui a trait à la performance de réduction de la teneur en SOV émis par des effluents gazeux contenant soit des hydrocarbures (benzène, toluène, xylènes, éthylbenzène) soit des alcools (éthanol, n-butanol et acétate de méthoxypropyl) et des mélanges de ces composés. Pour ces essais, plusieurs lits filtrants à haute performance construits selon la présente invention et développés à l'Université de Sherbrooke, furent étudiés. Plus particulièrement, la validation de la présente invention fut complétée par l'étude des phénomènes physiques, chimiques et microbiologiques de dégradation des SOV.

Pour chaque essai, en vue d'une optimisation des conditions de biofiltration, les biofiltres furent opérés comme suit:

- variation de la concentration d'entrée de 100 à 2000 ppm après acclimatation pour bâtir un biofilm dégradant efficacement le polluant,
- analyse des concentrations des SOV et de leurs produits à différents niveaux du biofiltre par un analyseur d'hydrocarbures totaux,
- 5 - analyse du gaz carbonique, révélateur d'une activité microbienne d'oxydation des composés organiques volatiles par un analyseur de CO₂,
- mesures de l'humidité relative de l'air, de la température et des pertes de charge,
- 10 - analyse des fractions gazeuse et liquide: les fractions gazeuse et liquide sont caractérisées afin de pouvoir visualiser et suivre les différentes étapes de dégradation des SOV et la formation éventuelle de produits intermédiaires. Une technique chromatographique couplée à de la spectrométrie de masse (GC/MS) est utilisée pour obtenir l'information fine auprès de chaque SOV et produits contenus dans l'air analysé. La phase aqueuse est analysée à l'aide
- 15 d'un chromatographe muni d'un système purge et piégeage "purge and trap" pour obtenir l'information relative à la dégradation des substances organiques.
- étude des populations microbiennes dans le biofiltre: nous étudions la dynamique de la population microbienne lors de la dégradation des hydrocarbures et des alcools dans les bioréacteurs. Nous utilisons des
- 20 microorganismes présents sur le marché. Leur caractérisation est menée en même temps que les études physico-chimiques. Y sont considérés les décomptes microbiens totaux dans la phase liquide (effluent) et dans la phase solide, et la détermination des groupes taxonomiques prédominants (bactéries; actinomycètes, champignons, etc...). L'accumulation du biofilm sur le biofiltre
- 25 est mesurée par le dosage de carbohydrates totaux extractables à l'EDTA alcalin.

La dégradation de certains composés a conduit parfois à la formation d'intermédiaires acides qui ont abaissé le pH du lit, et par voie de conséquence qui auraient pu inhiber l'activité enzymatique des microorganismes. Dans de telles situations, l'acidification

30 du milieu filtrant fut contrôlée en maintenant le pH autour des valeurs 7 et 8 (gamme de pH optimal pour la croissance des bactéries) en ajoutant des solutions-tampon appropriées.

La sélection du matériel filtrant est un des facteurs cruciaux du procédé et du biofiltre de la présente invention. Tout d'abord, le biofiltre fournit un environnement adéquat aux microorganismes pour leur développement. Le matériel filtrant possède une grande capacité d'ab/adsorption et en même temps un espace interstitiel important de façon à minimiser les pertes de charge.

Tel que vu dans l'art antérieur, la capacité d'ab/adsorption et l'espace interstitiel ont tendance à s'exclure mutuellement dans la plupart des milieux naturels comme les sols, les composts ou la tourbe.

L'invention révèle, entre autres, la possibilité d'augmenter l'espace interstitiel tout en conservant les propriétés d'ab/adsorption naturelles du milieu en conditionnant le matériel filtrant sous forme de granules ou de boulettes. Avantageusement, ces granules ou boulettes auront une surface rugueuse et poreuse augmentant ainsi leur surface spécifique et favorisant le transfert de masse pour la biodégradation des polluants.

De plus, l'invention révèle la possibilité d'ajouter des boules de polystyrène de façon à éviter le tassement de la matière organique (i.e. pour augmenter la rigidité des milieux filtrants, i.e. pour réduire l'effet de compression dû à la charge des étages supérieurs sur les étages inférieurs) et rendre le biofiltre plus durable.

Avantageusement, la tourbe préparée sous forme de granules ou de boulettes fut retenue comme composante d'un support inerte pour micro-organismes. Le choix étant motivé par les propriétés avantageuses de la tourbe soit une bonne capacité d'absorption/adsorption, une grande capacité de rétention de l'humidité, un bon effet tampon, une haute teneur en acide humique et une grande disponibilité de cette matière.

Les incorporations souhaitées des milieux filtrants seront maintenant décrites en plus de détails.

Dans une première étape, des granules ou billes de tourbe sont préparées et conditionnés selon les étapes a), b) et c).

a) Granules et billes de tourbe fixateur des microorganismes, et liant les nutriments pour une utilisation à long terme.

- Composition : Granules de tourbe à forme irrégulière ou sphérique, de dimension moyenne de 4 mm avec une tourbe de mousse de sphaigne, avec un degré de décomposition de la matière humique à l'échelle Van Post de H6 à H9, avec un liant de polymères de PVA et/ou de gomme de guar et/ou de PAA (acide polyacrylique), et/ou de PAM (polyacrylamide) et/ou des silicates d'origine naturelle, sans perte de fibres et sans perte de couleur brune en cours de fonctionnement dans le lixiviat liquide. Le pH des granules était de 3.5 à 7.5. La perte de charge maximale obtenue en fonctionnement est de 3 cm H_2O/m .
- 5
- Composition : Les boulettes (ou billes) de tourbe ont un diamètre moyen de 0.5 à 1 cm. Les boulettes de tourbe sont fabriquées avec ou sans ciment par utilisation d'un bouleteur.
- 10
- b) Agents combinant la neutralisation du pH, l'apport de nutriments et de micro nutriments, et un pouvoir "liant" de la tourbe, des polymères et des microorganismes ajoutés aux granules et aux billes de tourbe.
- 15
- Les agents alcalinisant sont ajoutés dans la tourbe à un taux pouvant atteindre 30% p/p de ciment, ayant la composition en nutriments et en micro éléments nutritifs, soit de 10 à 12% de potassium (K_2O), de magnésium (MgO) de 1.0 à 3.0%, de cuivre (10-20 ppm), de manganèse (100-200 ppm), de molybdène (1-5 ppm) et de zinc (10-130 ppm) avec un pouvoir neutralisant exprimé en équivalent de carbonate de calcium ($Ca CO_3$) de 30 à 40%, et un équivalent comme pouvoir "précipitant" et "liant" exprimé en CaO de 30 à 50% p/p, et/ou de 5% p/p à 20% p/p de cendre de bois conditionnées ayant la composition suivante en nutriments et en micro nutriments (éléments mineurs) essentiels au métabolisme des groupes de micro-organismes: 0,3 à 0,6% en acide phosphorique assimilable (P_2O_5), de 1,3 à 5,5% p/p en potasse soluble (K_2O), de 0.5 à 0.8% en magnésium (Mg), 0,1 à 0,8% en manganèse (Mn), en Fer (Fe) de 0.1 à 0.9%, avec un pouvoir neutralisant en équivalent de carbonate de calcium de 25 à 40%, et un équivalent "précipitant" ou "liant" de 5 à 10% de Ca et/ou de 5% p/p à 10% p/p de chaux calcaire ou hydratée ou de résidus de chaux constitués de $Ca (OH)_2$, MgO , $Mg (OH)_2$, de $CaCO_3$, et de $MgCO_3$.
- 20
- 25
- 30
- c) Agent combinant seulement la neutralisation du pH et la fixation naturelle des microorganismes.
- Cet agent n'est pas inclus dans les billes ou dans les granules de tourbe, mais est mélangé aux différents lits filtrants à base de tourbe sans agent alcalinisant.

Avantageusement, cet agent sera des coquilles d'huître broyées ou d'autres résidus de carapaces de produits marins, broyés à une granulométrie moyenne de 1 à 8 mm.

- 5 Dans une seconde étape, la technologie innovatrice propose l'agencement et la combinaison de milieux filtrants en couches superposées (en série) ou non. Cet agencement vise à offrir un support mécanique au lit de filtration et à procurer une première filtration mécanique (non biologique) des poussières et des particules présentes normalement dans les émissions gazeuses industrielles. De plus, cette combinaison de couches permet la rétention de l'humidité du lit.
- 10 A la couche du lit filtrant à vocation biologique, c'est-à-dire là où a lieu la biodégradation des SOV, peut être combiné des couches superposés, ou en série des lits filtrants suivants:
- a) Couche de pépites de tourbe:
- 15 Cette couche est disposée avant la portion biologique, représentée par les billes de tourbe ou de granules, et a la fonction de supporter la couche supérieure du lit filtrant et/ou d'effectuer une filtration mécanique des poussières présentes dans le fluide gazeux. Cette tourbe présente un degré de décomposition Van Post de H4-H6, avec une granulométrie moyenne de 10 mm. Les caractéristiques générales sont les suivantes: 90% du lit filtrant avec
- 20 un diamètre moyen supérieur à 20mm. Le volume de cette portion du lit représente 20-30% v/v du lit filtrant.
- b) Couche de tourbe fibreuse non granulée:
- 25 Mousse de sphagne peu décomposée (Van Post H1 à H3), très fibreuse, en forme allongée fine plutôt que grossière, avec une humidité naturelle de l'ordre de 70%; 90% de sa composition est supérieure à 0,3 mm et 10% supérieure à 2.5 mm. Cette portion supérieure du lit devrait permettre de conserver une partie de l'humidité, tout en permettant un polissage final du traitement. Cette portion du lit occupe de 30 à 50% du lit filtrant et ne procure aucune fonction biologique.
- 30 c) Couche filtrant pour adsorption physico-chimique:

5 Charbon activé et/ou cendre de bois conditionnée, granulée sec, dont 90% des granules ont un diamètre supérieur à 1 mm et 10% à 2 mm. Cette portion du lit a comme rôle seul le polissage final du traitement des effluents et d'absorbant avant la mise en oeuvre du traitement biologique, i.e. elle est disposée de façon proximale à l'entrée des SOV.

Selon les principes connus, l'énergie consommée par le procédé de biofiltration est proportionnelle à la résistance à l'écoulement du lit filtrant. La chute de pression dépend généralement des propriétés d'écoulement du gaz, de son débit et également de la nature et de la composition du garnissage.

10 Le biofiltre de la présente invention fut testé par rapport à ces paramètres. Il en résulte que la perte de pression à travers le lit a été mesurée de façon journalière et servait comme paramètre de contrôle et de diagnostic de l'état de compaction du matériel filtrant. La perte de charge moyenne était comprise entre 1 et 2 cm H₂O/m, ce qui est très faible.

15 Selon l'invention l'humidification du lit filtrant est assurée régulièrement par pulvérisation de l'eau à sa surface supérieure. De plus, une alimentation du biofiltre en eau à différents niveaux a été mise en oeuvre puisqu'elle a comme avantage de nourrir les différentes couches du lit à concentration de nutriments identiques, ce qui permet de raccourcir le temps requis pour la période d'acclimatation.

20 Dans cette invention, les inventeurs ont également mis au point un biofiltre de type percolateur. La percolation de la solution nutritive a été conçue pour fournir les nutriments aux microorganismes, l'humidité au lit filtrant, et pour laver l'excès de biomasse.

25 Le contrôle de la température est vital à l'efficacité et à la sécurité des composantes d'un biofiltre. Dans cette invention les inventeurs ont pu établir une relation entre la capacité d'élimination et la température.

30 Les inventeurs divulguent de plus que le contrôle de la température à l'entrée de la colonne permettra d'accroître le rendement du biofiltre. Le contraste de température entre les gaz entrant à température ambiante et la température de la colonne fait en sorte que le bas de la section inférieure (A) se déshydrate plus facilement. Il est donc suggéré d'installer un moyen de réchauffer le gaz entrant dans le biofiltre, par exemple par une gaine chauffante. Inversement, il peut être utilisé un système de refroidissement ou d'échange de chaleur de façon à éviter le contraste de température.

Selon l'invention, si suffisamment de nutriments sont fournis au matériel filtrant, la période de survie peut s'étendre jusqu'à deux mois. Cependant, durant des périodes d'arrêt, il est fortement conseillé d'aérer périodiquement le filtre afin d'éviter la mort des microorganismes par manque d'oxygène et/ou par déshydratation du matériel filtrant.

- 5 Cependant, dans le cas présent, les inventeurs ont constaté que leur biofiltre, même après une période d'inactivité de 8 mois sans aération, possédait encore des capacités d'élimination identiques à celles avant la période d'arrêt.

- 10 Il est généralement admis qu'une période de 10 jours est nécessaire à l'acclimatation des microorganismes avec les composés les plus facilement biodégradables. En revanche, pour les composés qui sont moins biodégradables et pour lesquels les microorganismes appropriés ne sont pas initialement adaptés dans le matériel filtrant, la période d'acclimatation est plus longue. Dans le cas présent, la période d'acclimatation s'étendait sur 2 - 3 jours quelque soit le polluant.

- 15 Un point important à respecter dans le présent procédé est d'éviter le transfert de pollution sous une forme autre que gazeuse par exemple par un transfert dans l'eau de nutriment. Des analyses d'eaux des procédés et de milieux usés ont donc été effectuées afin de vérifier si ces deux éléments du procédé pouvaient être disposés dans l'environnement ou devaient être traités. L'interprétation des analyses sur un échantillon de milieu filtrant usé a révélé que le milieu filtrant était considéré comme
20 déchet non dangereux donc disposable dans un lieu d'enfouissement sanitaire.

- En ce qui concerne les eaux de procédé, les analyses révèlent une charge polluante trop importante en DBO, d'où la nécessité d'un dernier traitement avant rejet. Ce traitement est aussi nécessaire pour disposer de phosphore résiduel et de matières en suspension. Cependant, ce traitement additionnel est simple et n'a pas pour effet
25 d'augmenter sensiblement le coût d'opération du procédé de l'invention. De plus, les eaux de procédé de la présente invention sont caractérisées par un surplus de nutriments et une population microbienne importante. Il est donc prévu d'effectuer le recyclage de ces eaux de procédé permettant ainsi de minimiser les coûts d'opération du procédé.

Exemple 1

Selon un premier exemple de la technologie, une source commerciale de microorganismes (mélange 1) a été utilisée pour bâtir l'inoculum du biofiltre.

- 5 Cette préparation microbienne a été utilisée pour inoculer un biofiltre employé pour le traitement de l'air contaminé avec de l'éthanol.

Le produit commercial a une consistance poudreuse et contient des micro-organismes lyophilisés. Pour préparer l'inoculum, 500 mg de cette poudre ont été introduits dans un erlenmeyer contenant 250 ml de milieu d'inoculation stérile qui avait la composition suivante:

10	dissous dans 958 ml d'eau distillée:	
	phosphate disodique anhydre	6 g
	phosphate de potassium monobasique anhydre	3 g
	chlorure d'ammonium	1 g
	protéose peptone	1 g
15	extrait de levure	1 g
	glycérol	1 ml.

Une fois cette solution stérilisée, les composantes suivantes (stérilisées séparément) y étaient ajoutées en gardant la stérilité:

	sulfate de magnésium 1 M	1 ml
20	chlorure de calcium 0.01 M	10 ml
	chlorure de sodium 5% (p/v)	10 ml

Une fois cette solution refroidie, on ajoutait éthanol 96% 20 ml

- 25 En général, ce milieu était préparé dans des contenants de 1000 ml à raison de 250 ml de milieu par contenant. Une telle proportion assurait une bonne aération pendant l'incubation des bactéries sur agitateur rotatif.

Les bouteilles inoculées avec le mélange 1 étaient placées sur un agitateur rotatif et incubées pendant 24 heures à la température de la pièce.

Une petite quantité de cette culture était gardée pour examiner les populations microbiennes au laboratoire, le restant était utilisé pour inoculer le biofiltre.

Inoculation du biofiltre

Une fois la tourbe humidifiée placée dans le biofiltre, l'inoculum était introduit sur la tourbe par l'orifice supérieur de la colonne du biofiltre.

En laboratoire, cette solution était préparée à l'état 5 fois concentré.

5	Solution nutritive 5x conc. (recette pour 3 litres):		
	phosphate disodique anhydre		90 g
	phosphate de potassium monobasique anhydre		45 g
	chlorure d'ammonium		15 g
	sulfate de magnésium 1 M		15 ml
10	chlorure de calcium 0.01 M		150 ml
	chlorure de sodium 5% (p/v)		150 ml
	nitrate de potassium		1.5 g
	solution de micro éléments		15 ml
Solution de micro éléments; recette pour 1 litre:			
15	chlorure de zinc		40 mg
	chlorure ferrique hexahydraté		200 mg
	chlorure de cuivre dihydraté		10 mg
	chlorure de manganèse tétrahydraté		10 mg
	tétraborate de sodium décahydraté		10 mg
20	ammonium molybdate tétrahydraté		10 mg
	nitrate de cobalt hexahydraté		10 mg

La solution nutritive ainsi préparée était diluée avec de l'eau courante (1 volume de solution pour 4 litres d'eau). Cette solution nutritive était ensuite introduite dans le biofiltre chaque matin.

Exemple 2

Selon un second exemple d'application de la technologie, une combinaison innovatrice de souches pures provenant de la collection ATCC (American Type Culture Collection) fut utilisée.

- 5 Les souches ont servi à inoculer un biofiltre employé pour le traitement de l'air contaminé par le toluène et/ou les xylènes.

Les souches suivantes ont été employées (mélange 2)

Pseudomonas putida (ATCC 31483)

Pseudomonas putida biotype A (ATCC 39213)

- 10 *Rhodococcus* sp. (ATCC 21499), et
Arthrobacter paraffineus (ATCC 15590).

- 15 Les quatre microorganismes étaient cultivés séparément dans des portions de 500 ml chacun de milieu Tryptic Soy Broth + 0.1% de toluène ou de xylènes. Après une nuit d'incubation à 30°C, les cultures étaient soumises à une centrifugation, pour récupérer la biomasse microbienne et éliminer le milieu de culture (riche en substances organiques). Pour procéder à l'inoculation des biofiltres, les microorganismes étaient resuspendus dans la solution nutritive d'inoculation, telle que décrite dans l'exemple d'application précédent.

- 20 Cette suspension microbienne préparée à l'aide de la solution nutritive (pauvre en substances organiques) était directement introduite sur le matériau filtrant du biofiltre.

Dans une variante de la procédure d'inoculation, l'excès de suspension d'inoculation a été recueilli en bas du biofiltre et ce liquide a été introduit une deuxième fois sur le matériau filtrant, pour assurer une meilleure répartition des microorganismes de l'inoculum dans le biofiltre.

- 25 Un autre exemple d'application de la technologie consiste à garder le mode d'inoculation de l'exemple précédent mais en modifiant la solution nutritive de façon à ramener le rapport molaire N:P à 5:1.

- 30 Selon cette variante, le biofiltre avait été inoculé comme précédemment avec 4 souches ATCC, mais les arrosages ont été effectués avec une solution nutritive de composition suivante:

	KH_2PO_4	15 g
	NH_4Cl	10 g
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	10 g
	NH_4HCO_3	20 g
5	solution de microéléments	5 ml
	eau distillée à 1000 ml	

(pH ajusté à 8.0 - 8.5 avec du NH_4OH).

Exemple 3

10 Dans cet exemple, un consortium de microorganismes (mélange 3) a été utilisé. Ce consortium constitue une combinaison innovatrice de microorganismes.

Ce mélange a servi à inoculer les biofiltres pour le traitement de l'air contaminé par le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes et le benzène (BTEX).

Le consortium microbien présente les particularités suivantes:

15 Contenu en pathogènes et en indicateurs de pathogènes négatifs dans 25 grammes sec. Les pathogènes concernés sont les suivants: salmonelles, *Staphylococcus aureus*, *Shigella* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhosa*, *Escherichia coli*, coliformes fécaux < 100 UFC/g; streptocoques fécaux < 100 UFC/g. Le contenu total en bactéries est de $\geq 10^9$ UFC/g sec du consortium, en levures et moisissures $\geq 10^3$ /g, en actinomycètes mésophiles $\geq 10^7$ /g. Les groupes microbiens reliés composants le

20 consortium font partie du groupe des levures et moisissures (Ex.: *Aspergillus* sp.), d'actinomycètes et de *Thiobacillus*.

25 Le consortium est une formulation de culture microbiennes, d'organismes observés naturellement avec un contenu en micro nutriments (cuivre, fer, manganèse et zinc entre 0.05% et 0.10%), en minéraux (calcium, magnésium, sodium, potassium et phosphore entre 5 et 12%), en hydrates de carbone (entre 50 et 75%) et avec un transporteur protéique (entre 10 et 20%). Le consortium sélectionné pour dégrader les BTEX est aussi capable de métaboliser les alcools (ex.: éthanol, butanol). L'avantage d'utiliser ce consortium réside dans la possibilité de traiter les effluents par biofiltration avec un pH d'opération aussi faible que 4.0.

- 5 [Toutes les données sont représentées par la capacité d'élimination (CE) et l'efficacité d'élimination ou taux de conversion de la colonne. L'efficacité d'élimination est définie comme la différence (%) entre les concentrations du polluant entrant et sortant de la colonne, divisée par la concentration de polluant entrant. La capacité d'élimination (exprimée en g/m³.h) est définie comme la différence de concentration de polluant entrant et sortant (ΔC), multipliée par le débit volumique du polluant volatil (Q_g), divisée par le volume du lit filtrant (V):]

$$EC = \frac{Q_g \cdot \Delta C}{V}$$

- 10 La capacité d'élimination d'un composé donné dans un biofiltre a une valeur maximale CE_{max} correspondent à la quantité maximale de ce polluant qui peut être dégradée dans les conditions opératoires mises en oeuvre. Même si on augmente la concentration du polluant ou le débit d'air contaminé, on ne peut pas dépasser ce maximum. CE_{max} est donc une caractéristique qui peut être utilisée pour comparer les performances de biofiltration dans le cas de différents composés organiques et entre différentes unités de biofiltration.

Le tableau 1 en page suivante est un résumé des diverses expériences réalisées dans divers biofiltres (B1, B2 et B3) et indique les capacités d'élimination maximales obtenues. On trouve également dans ce tableau la valeur limite de la charge à partir de laquelle la capacité maximale est atteinte. Cette valeur correspond au taux de chargement maximum. Au delà de cette valeur, la capacité d'élimination reste constante mais le taux de conversion diminue donc l'efficacité de l'épuration diminue. Les charges à l'entrée peuvent varier aussi bien par la concentration du polluant à traiter que par le débit d'air. L'on constate que peu importe des variations de débits ou de concentrations, à charge égale, l'élimination des SOV sera semblable.

De manière surprenante, l'on constate que les valeurs des capacités d'élimination sont bien supérieures à celles données dans la littérature. Le meilleur résultat pour le solvant toluène est obtenu avec les granules de tourbe. Par exemple, pour l'épuration du toluène, Tahraoui et coll. (1994) trouvent $68 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ comme capacité maximale d'élimination alors que nous avons atteint la valeur d'environ $165 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ avec le biofiltre B3.

Ces valeurs élevées de capacité d'élimination permettent ainsi de réduire le volume du biofiltre par rapport aux biofiltres présents sur les marchés et il faut remarquer aussi que les concentrations utilisées vont du ppm à de fortes concentrations supérieures à 1000 ppm, cette dernière concentration étant très supérieure à celle mentionnée dans la littérature.

De plus, au cours des expériences, la concentration à l'entrée de polluants fut augmentée de temps à autre de 500 à 1000 ppm ou de 1000 à 1500 ppm. Aucune difficulté d'opération ne fut constatée. De même, lorsque le mélange constitué de toluène et de xylènes a été envoyé dans le biofiltre B3, ce dernier s'est acclimaté dès les premiers jours confirmant un comportement dynamique satisfaisant et la flexibilité du procédé vis-à-vis d'une variation de la charge à l'entrée. Par contre, un effet d'inhibition des xylènes sur le toluène a été constaté puisqu'avec le toluène seul, une capacité maximale d'élimination de $165 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ a été obtenue alors qu'une capacité d'élimination de 90 à $110 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ a été obtenue avec le mélange toluène/xylènes (la première valeur a été obtenue avec une charge fixe de xylènes tandis que la seconde valeur a été obtenue avec une charge fixe de toluène à l'entrée).

Tableau 1: Résumé des expériences réalisées

Bio- filtre	Milieu filtrant	Polluant	Concentra- tion maximale à l'entrée (PPM)	Capacité d'élimination maximale (g/m ³ h)	Taux de conversion maximal (%)	Valeur "limite" de la charge (g/m ³ h)
B2	tourbe et ciment	toluène	170	45	94	48
B3	granules et polystyrène	toluène	1000	155	86	185
B3	granules et polystyrène	toluène et xylènes	1020	90 à 110	59	145
B1	tourbe	xylènes	550	120	96	125
B1	tourbe	xylènes	1100	220	83	265
B2	schiste	xylènes	600	120	92	130

Le procédé de la présente invention est donc adaptable à plusieurs types de polluants, la limite étant imposée par la disponibilité des microorganismes capables de dégrader un type de polluant.

- 5 Bien que la présente invention ait été décrite plus haut par voie d'exemples spécifiques, ces exemples peuvent faire l'objet de modifications et variations apparentes à l'homme du métier. Ces modifications et variations sont bien entendu couvertes par les revendications annexées, comme elles ne s'éloignent pas des enseignements et de l'esprit de notre invention.

Les réalisations de l'invention au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définies comme il suit :

1. Un procédé de traitement d'un fluide gazeux comprenant des polluants organiques volatiles, comprenant les étapes suivantes :

- 5** a) la préparation d'un biofiltre capable de convertir une portion substantielle des polluants organiques volatiles en des produits non-polluants, ledit biofiltre comprenant au moins une unité verticale servant de récipient-support aux composantes du biofiltre, lesdites composantes comprenant :
- 10** - un premier élément comprenant un mélange non-compactable servant de lit filtrant, ledit mélange comprenant :
- un premier matériau capable d'une grande ab/adsorption de fluide gazeux et formulé de façon à présenter une surface spécifique et un volume interstitiel adéquats pour permettre une capture du
- 15** fluide gazeux par des microorganismes adhérents à ce premier matériau et exerçant une fonction de support des microorganismes,
- un deuxième matériau présent dans une proportion apte à éviter le compactage du lit filtrant et servant d'agent liant au premier matériau;
- 20** - un agent tampon servant à l'adhésion de microorganismes au premier matériau et exerçant une fonction de support des microorganismes; et
- un consortium de microorganismes capables de ladite conversion, ces microorganismes étant inoculés et adhérents au
- 25** premier matériau; et
- des moyens d'arrosage permettant d'arroser ledit lit filtrant;
- 30** b) l'humidification de la colonne par l'ajout d'une solution aqueuse comprenant des nutriments et des tampons supportant l'intégrité et la fonction des microorganismes, l'humidification étant assurée par lesdits moyens d'arrosage;
- c) le maintien du lit filtrant à une température compatible avec l'intégrité et la fonction des microorganismes; et

d) l'apport du fluide gazeux, pouvant contenir les polluants organiques volatiles, l'apport étant accompli au bas de la colonne, ledit fluide gazeux étant au préalable humidifié, et l'apport étant effectué à un débit permettant que ladite conversion soit efficace.

- 5 2. Un procédé tel que défini à la revendication 1, dans lequel lesdites composantes comprennent également un deuxième élément disposé au-dessus du premier permettant de conserver l'humidité du lit filtrant.
- 10 3. Un procédé tel que défini à la revendication 2, dans lequel lesdites composantes comprennent également un troisième élément disposé au-dessus du deuxième permettant l'adsorption physico-chimique d'une portion substantielle des composantes du fluide gazeux ayant échappé à la conversion en produits non-polluants.
4. Un procédé tel que défini l'une dans quelque des revendications 1 à 3, dans lequel le premier matériau est un granulé de tourbe.
- 15 5. Un procédé tel que défini l'une quelque des revendications 1 à 4, dans lequel le deuxième matériau est sélectionné parmi le groupe consistant en du ciment, de l'alcool polyvinylique, de la gomme de guar, de l'acide polyacrylique, du polyacrylamide, des silicates, et tout mélange de ceux-ci.
- 20 6. Un procédé tel que défini à l'une quelque des revendications 1 à 5, dans lequel l'agent tampon est un granulé de coquille d'huîtres ou de résidus de carapaces d'animaux marins.
7. Un procédé tel que défini dans l'une quelque des revendications 2 à 6, dans lequel le deuxième élément est de la mousse de sphaigne.
- 25 8. Un procédé tel que défini dans l'une quelque des revendications 3 à 7, dans lequel le troisième élément est sélectionné parmi le groupe consistant en du charbon activé, de la cendre de bois conditionnée et un mélange de ceux-ci.
- 30 9. Un procédé tel que défini dans l'une quelque des revendications 1 à 8, dans lequel le consortium de microorganismes est sélectionné pour sa capacité de convertir, en eau et en bioxyde de carbone les alcools, les xyènes, le toluène, l'éthylbenzène, le benzène, et tout mélange de ceux-ci.

10. Un procédé tel que défini à la revendication 9, dans lequel le consortium de microorganismes est salmonelles, *Staphylococcus aureus*, *Shigella* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhosa*, et *Escherichia coli*, coliformes fécaux < 100 UFC/g; streptocoques fécaux .
- 5 11. Un procédé tel que défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel le biofiltre comprend également un pré-garnissage composé de billes de matière plastique ou autre support inerte localisé au bas du biofiltre dans une section isolée du lit filtrant, mais perméable au fluide gazeux, ce pré-garnissage recevant l'apport du fluide gazeux.
- 10 12. Un biofiltre pour le traitement d'un fluide gazeux comprenant des polluants organiques volatiles, comprenant au moins une unité verticale servant de récipient-support aux composantes du biofiltre, lesdites composantes comprenant :
- un premier élément comprenant un mélange non-compactable servant de lit filtrant, ledit mélange comprenant :
 - 15 - un premier matériau capable d'une grande ab/adsorption de fluide gazeux et formulé de façon à présenter une surface spécifique et un volume interstitiel adéquats pour permettre une capture du fluide gazeux par des microorganismes adhérents à ce premier matériau et exerçant une fonction de support des microorganismes;
 - 20 - un deuxième matériau présent dans une proportion apte à éviter le compactage du lit filtrant et servant d'agent liant au premier matériau;
 - un agent adhésif servant à l'adhésion de microorganismes au premier matériau; et
 - 25 - un consortium de microorganismes capables de ladite conversion, ces microorganismes étant inoculés et adhérents au premier matériau ; et
 - des moyens d'arrosage permettant d'arroser ledit lit filtrant.
13. Un biofiltre tel que défini à la revendication 12, dans lequel lesdites composantes comprennent également un deuxième élément disposé au-dessus du premier permettant de conserver l'humidité du lit filtrant.
- 30 14. Un biofiltre tel que défini à la revendication 13, dans lequel lesdites composantes comprennent également un troisième élément disposé au-dessus du deuxième permettant l'adsorption physico-chimique d'une portion substantielle

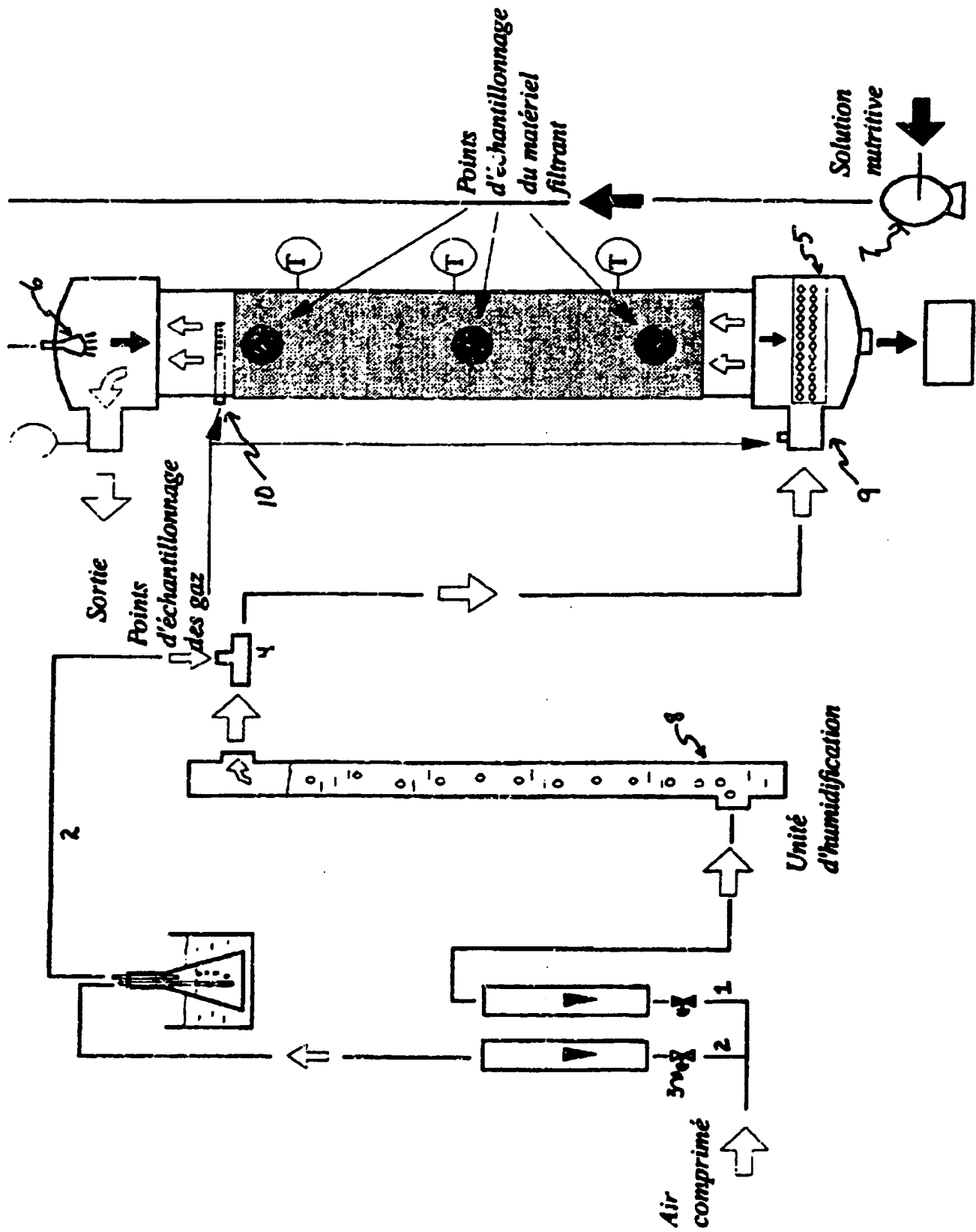
des composantes du fluide gazeux ayant échappé à la conversion en produits non-polluants.

15. Un biofiltre tel que défini à l'une quelconque des revendications 12 à 14, dans lequel le premier matériau est un granulé de tourbe.
- 5 16. Un biofiltre tel que défini à l'une quelconque des revendications 12 ou 15, dans lequel le deuxième matériau est sélectionné parmi le groupe consistant en du ciment, de l'alcool polyvinylique, de la gomme de guar, de l'acide polyacrylique, du polyacrylamide, des silicates, et tout mélange de ceux-ci.
- 10 17. Un biofiltre tel que défini à l'une quelconque des revendications 12 à 16, dans lequel l'agent tampon est un granulé de coquille d'huîtres ou de résidus de carapaces d'animaux marins.
18. Un biofiltre tel que défini dans l'une quelconque des revendications 13 à 17, dans lequel le deuxième élément est de la mousse de sphagnum.
- 15 19. Un biofiltre tel que défini dans l'une quelconque des revendications 14 à 18, dans lequel le troisième élément est sélectionné parmi le groupe consistant en du charbon activé, de la cendre de bois conditionnée et un mélange de ceux-ci.
- 20 20. Un biofiltre tel que défini dans l'une quelconque des revendications 12 à 19, dans lequel le consortium de microorganismes est sélectionné pour sa capacité de convertir en eau et en bioxyde de carbone les alcools, les xylènes, le toluène, l'éthylbenzène, le benzène, et tout mélange de ceux-ci.
21. Un biofiltre tel que défini à la revendication 20, dans lequel le consortium de microorganismes est salmonelles, *Staphylococcus aureus*, *Shigella* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhosa*, et *Escherichia coli*, coliformes fécaux < 100 UFC/g; streptocoques fécaux.
- 25 22. Un biofiltre tel que défini dans l'une quelconque des revendications 12 à 21, comprenant également un prégarnissage composé de billes de matière plastique ou autre support inerte, localisé au bas du biofiltre, dans une section isolée du lit filtrant, mais perméable au fluide gazeux.
- 30 23. Un biofiltre selon l'une quelconque des revendications 12 à 22, comprenant une ou plusieurs unités verticales superposées ou non et reliées entre elles par

des moyens de liaison perforés de façon à ne pas gêner la libre circulation des fluides aqueux et gazeux.

24. Un système pour le traitement d'un fluide gazeux comprenant des polluants organiques volatiles, comprenant:

- 5 - un biofiltre tel que défini à l'une quelconque des revendications 12 à 23;
- une unité d'humidification rattachée au bas du biofiltre;
- une conduite transportant le fluide gazeux comprenant les polluants organiques volatiles rattachée à l'unité d'humidification;
- 10 - des stations de mesure de la température du biofiltre; et
- des stations d'échantillonnage pour évaluer le degré d'humidité, le pH et la composition des fluides aqueux et gazeux,
- lesdites stations de mesure et d'échantillonnage étant réparties à divers niveaux verticaux du biofiltre.



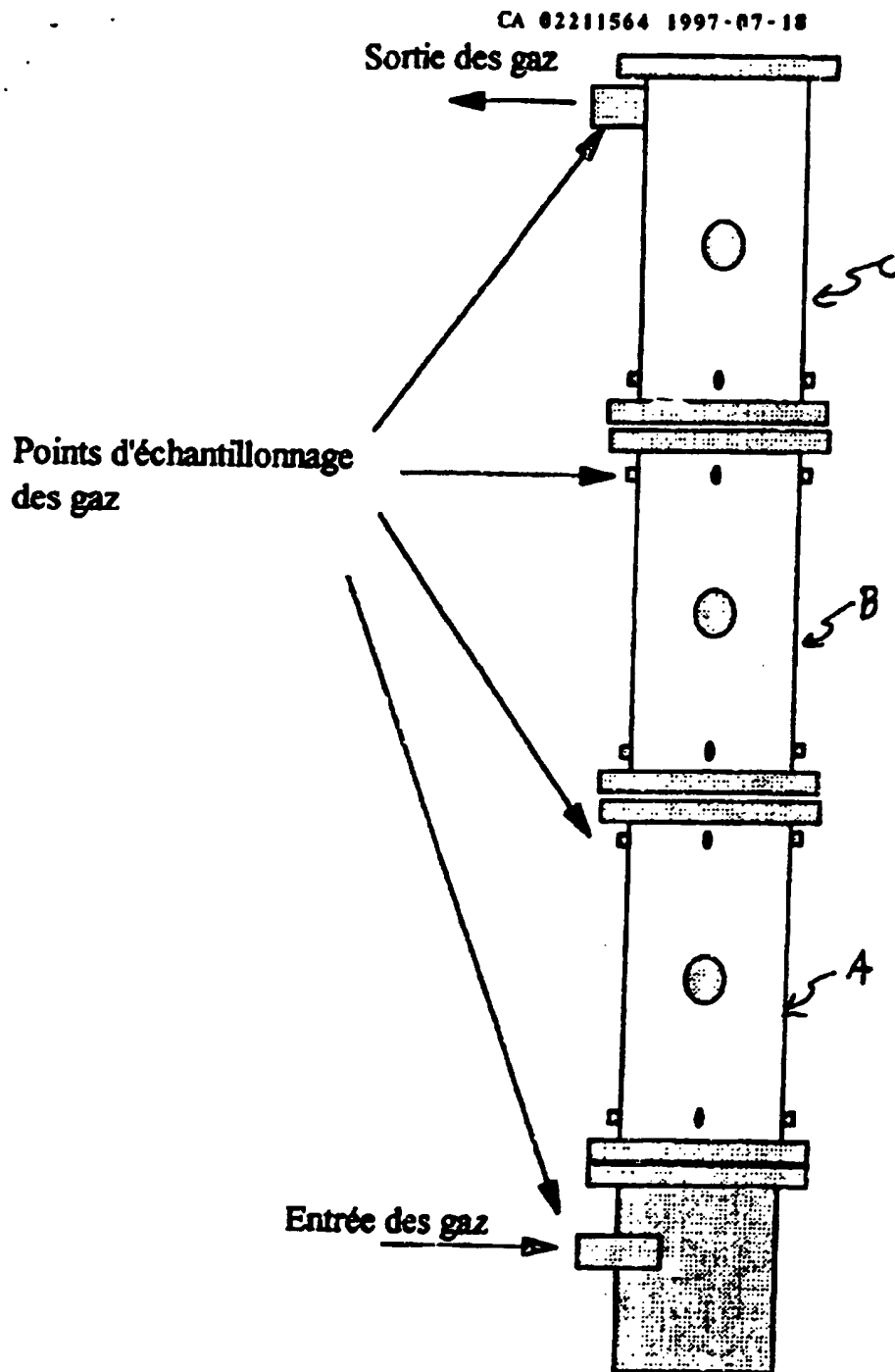


Figure 2: Biofiltre B1 après modification

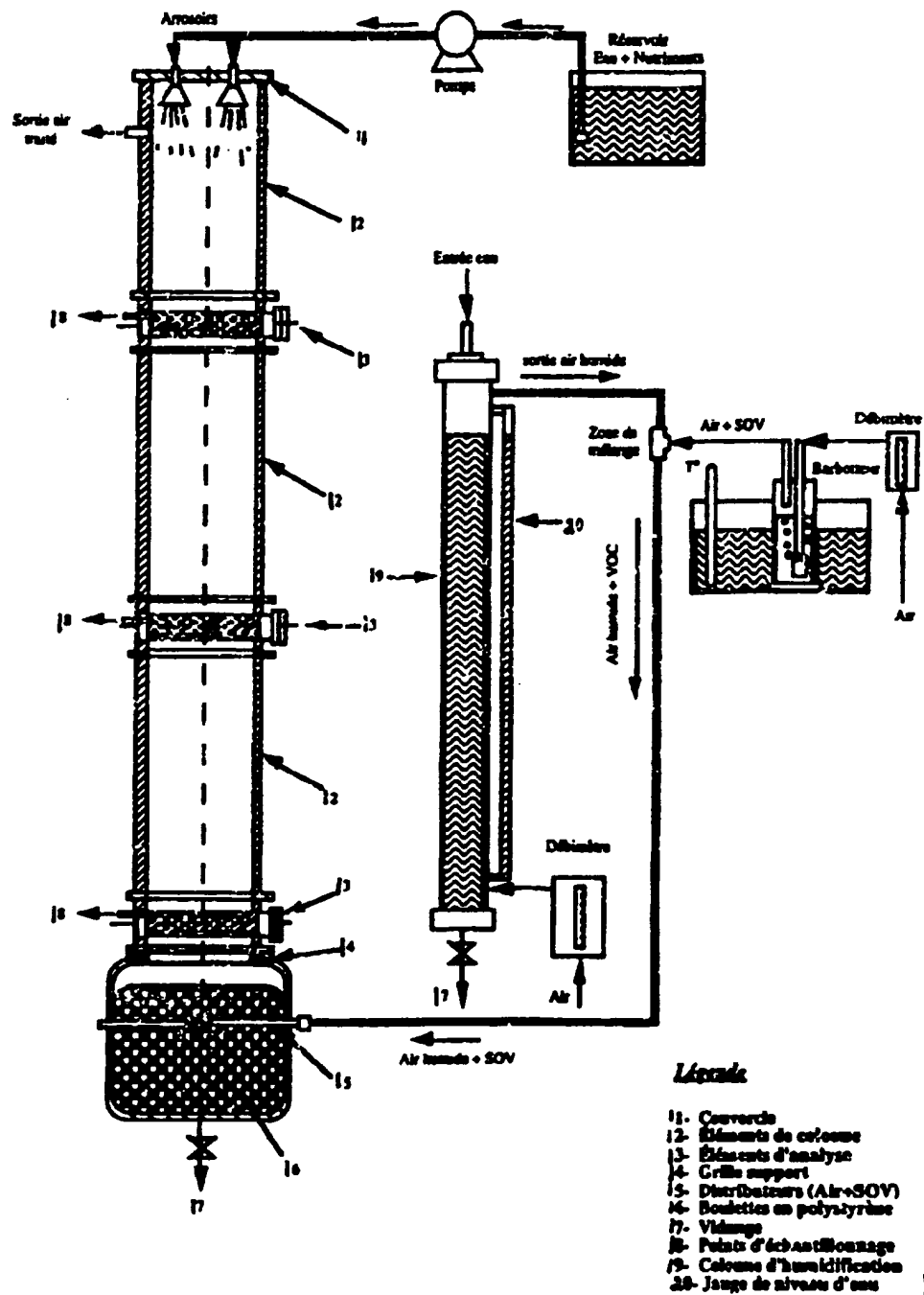


Figure 3:

Représentation schématique du biofiltre B3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.